

Рисунок 6 – Сравнение зон защиты ДРМ для надежностей защиты $P = 0,9$ и $P = 0,95$

Для проверки выведенных соотношений и анализа зоны защиты ДРМ была разработана компьютерная программа в среде электронных таблиц Microsoft Excel с использованием приложения Visual Basic for Applications, которая позволяет определить основные параметры зоны защиты ДРМ, координаты концевых точек на заданных высотах анализа и выдает полученные результаты (границы зоны защиты) в графическом виде.

Как указывалось выше, габаритные размеры торцевых областей зоны защиты ДРМ определяются исходя из параметров зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов. Анализ параметров зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов по материалам РД и ДСТУ (см. табл. 1 и табл. 2) показывает, что при одной и той же степени надежности (терминология РД) (надежности защиты (терминология ДСТУ)) зоны защиты имеют различные габаритные размеры (см. рис. 5). Объяснение этого факта отсутствует в известной авторам литературе и подлежит объяснению разработчиками ДСТУ, так как они ввели более жесткие нормы.

В связи с вышеизложенным было проведено сравнение зон защиты ДРМ, построенных для надежности защиты 0,9 и 0,95, которое приведено на рис. 6. Из приведенного сравнения видно, что сохраняется та же тенденция. И, как следствие, зона защиты более жесткого случая (при $P = 0,95$) оказалась больше, чем менее жесткого (при $P = 0,9$).

Так как существует множество объектов, спроектированных для надежно-

стей, приведенных в РД, а вновь введенный нормативный документ ДСТУ распространяется как на вновь строящиеся, так и на эксплуатируемые объекты, то возникает необходимость проверки их надежности защиты.

Выводы.

1. Разработана математическая модель для расчета зоны защиты ДРМ, необходимая для создания программного обеспечения, предусмотренного ДСТУ.
2. Показано, что в зависимости от соотношения между параметрами ДРМ изменяется форма и габариты его зоны защиты.
3. Приведены аналитические выражения для определения координат концевых точек, необходимых для построения зоны защиты ДРМ, которые были использованы для компьютерного моделирования молниезащищенности объектов.
4. На базе выведенных математических соотношений разработана программа, позволяющая производить построения зоны защиты ДРМ заданных параметров на четырех высотах анализа согласно РД и ДСТУ.
5. Проведенное сравнение зон защиты ДРМ, рассчитанных по РД и ДСТУ, выявило проблему преемственности этих нормативных документов. Это, в конечном итоге, не позволяет утверждать, что в настоящее время молниезащищенность какого-либо из объектов Украины отвечает требованиям нового нормативного документа (ДСТУ).

Список литературы: 1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: РД 34.21.122-87 / М-во энергетики и электрификации СССР. – Офиц. изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. 2. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006, NEQ): ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – [Чинний від 2009–01–01]. – К.: Мінеріонбуд України, 2008. – 48 с. – (Національний стандарт України). 3. Методика аналізу молниезахищенності об'єктів при складному рельєфі поверхні зони захисту / С.В.Курпич, А.А.Петков, Д.Г.Колушко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – №21. – С. 66–78.

Поступила в редколлегию 05.11.2009.

УДК 621.317.3

В.В.КНЯЗЕВ, канд.техн.наук, вед.науч.сотр., НТУ «ХПИ»;
В.И.КРАВЧЕНКО, докт.техн.наук, профессор, НТУ «ХПИ»;
И.П.ЛЕСНОЙ, зав.лаб., НТУ «ХПИ»;
Ю.С.НЕМЧЕНКО, гл.метролог, НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКИХ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЭТАЛОНЕ-ТН

Описано метрологічне обладнання для атестації засобів вимірювання високих імпульсних напруг практично при реальних параметрах вимірюваних напруг. Наведена методика метрологічної атестації засобів вимірювання високих імпульсних напруг, а також експериментальні результати цієї процедури на макеті омичного дільника напруги на 300 кВ.

Metrological equipment for qualification of the facilities of the measurement of the high pulsed voltages under real parameter of the measured voltages practically is described. The procedure of metrological qualification of the facilities of the measurement of the high pulsed voltages, as well as experimental results of this procedure on model ohmic divider of the voltage on 300 kV are brought.

1. Актуальность. Мировая практика метрологической аттестации (МА) средств измерения высоких импульсных напряжений, обычно это делители напряжения различного типа (УИВН), заключается в обязательном экспериментальном определении таких характеристик:

- формы и временных параметров переходной характеристики (ПХ), включая, в первую очередь, время нарастания ПХ ($T_n^{ПХ}$);
- коэффициента деления K_o^{BH} на высоком импульсном напряжении.

При этом ПХ УИВН определяется при помощи специальных генераторов единичных скачков напряжения (ГЕСН), как правило, сравнительно низковольтных. Используемые в Украине ГЕСН имеют выходное напряжение до 400 В [1]. В то же время, K_o^{BH} определяется наиболее достоверно на высоком импульсном напряжении (ВН) при помощи стандартизованного образцового средства измерения ВН – шаровых разрядников (ШИР) [2, 3].

Оба этих этапа имеют сложности, особенно при МА УИВН, предназначенных для измерения импульсов напряжения с амплитудой более 500 кВ. Сложности таковы:

1) УИВН обычно имеют коэффициент $K_o^{BH} \geq 10000$, чтобы можно было подключать к низковольтному плечу УИВН стандартный осциллограф. В этом случае при подключении к УИВН низковольтного ГЕСН выходное напряжение УИВН при определении ПХ имеет малую величину (единицы или десятки милливольт), что в условиях сопровождения полезного сигнала различного рода шумами, не позволяет определять параметры ПХ с высокой точностью;

2) процесс определения K_o^{BH} при помощи ШИР связан с такими проблемами:

- ШИР для напряжений более 500 кВ должны иметь диаметр не менее 0,5 м. Такие ШИР – это громоздкие, как правило, стационарные конструкции весом более 500 кг;
- процедура МА при помощи ШИР включает определение 50 % пробивного напряжения, что требует продолжительного времени, связанного с необходимостью набора статистических данных;
- пробивное напряжение ШИР чувствительно к влиянию внешних климатических факторов (давление, влажность, температура окружающей среды, различного рода излучения);
- погрешность измерения ВН при помощи ШИР не менее 3 %.

Кроме того, ШИР применим только для аттестации УИВН микросекундного и более длительного диапазонов [2], и не пригоден для УИВН наносекундного диапазона.

Поэтому для расширения возможностей проведения МА УИВН, предна-

значенных для измерения импульсов высокого напряжения произвольной формы, а также, упрощения процедуры МА и получения более достоверных данных о параметрах УИВН в НИПКИ «Молния» разработан альтернативный метод. Этот метод позволяет проводить измерения ПХ УИВН любого вида, а также более точно (менее 3 %) определять K_o^{BH} для УИВН на диапазон напряжений до 50 кВ. Следует отметить, что получить от ШИР в этом амплитудном диапазоне напряжений даже декларируемую точность весьма проблематично.

2. Метод решения проблемы. Такой альтернативный метод МА основан на использовании Исходного Эталона Украины единиц максимальных значений напряженностей импульсных электрического – вольт на метр (В/м) и магнитного – ампер на метр (А/м) полей (Эталон РЭМП).

Основное назначение Эталона РЭМП – метрологическая аттестация и проверка средств измерения напряженностей импульсных электрических и магнитных полей (СИТ-Е, СИТ-Н). Технические и метрологические характеристики описаны в [4,5].

Эталон РЭМП содержит полеобразующие элементы, отвечающие за создание в их рабочем объеме аттестационных электрических и магнитных полей. Такими элементами являются согласованные на концах закрытые, симметричные полосковые линии (ТЕМ-ячейки) с габаритами рабочих объемов 1 x 1,2 x 0,24 м (ПЛ-24) и 2,2 x 1,6 x 0,48 м (ПЛ-48), в которых формируется плоская электромагнитная волна (рис. 1).

Две полосковые линии нужны для того, чтобы в одной из них, ПЛ-24, получать скачкообразные импульсы с длительностью фронта 0,7 нс и длительностью импульса 100 нс, а во второй – ПЛ-48 – получать биэкспоненциальные импульсы с длительностью фронта 8 нс и постоянной спада – до нескольких секунд (при отключении согласующей нагрузки от ПЛ-48) при максимальной напряженности электрического поля до 200 кВ/м.

Вторичными параметрами работающих ПЛ, создающих электрические поля, являются напряжения между электродами ПЛ. До недавнего времени на эти напряжения не обращали особого внимания, однако сейчас это мнение пересмотрено в связи с решением использовать Эталон РЭМП для метрологической аттестации УИВН при помощи импульсных напряжений в ПЛ. В этом случае Эталон РЭМП становится источником единиц максимальных значений высоких импульсных напряжений – вольт (В) и в этом режиме ему присвоена новая аббревиатура Эталон-ТН.

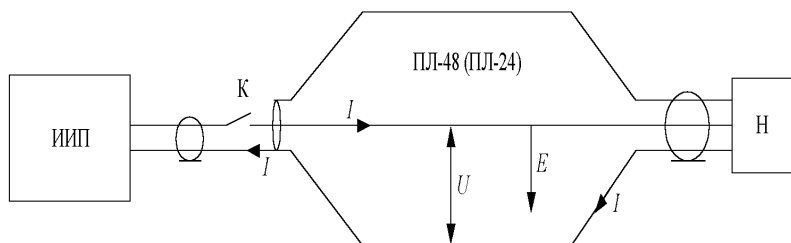


Рисунок 1 – Концептуальная схема Эталона РЭМП

ИИП – импульсный источник питания; К – коммутатор; Н – нагрузка; ПЛ-48 (ПЛ-24) – полосковые линии; I – ток; U – напряжение; E – напряженность электрического поля

В данной статье рассматривается процедура использования Эталона-ТН для генерирования единиц максимальных значений высоких импульсных напряжений – вольт (В), первоначально в ПЛ-48 (рис. 2).



Рисунок 2 – Общий вид ПЛ-48

Упрощенная схема замещения Эталона-ТН (без аттестуемого УИВН) приведена на рис. 3.

Под выходными импульсами напряжения Эталона-ИН мы считаем напряжение между электродами ПЛ-48 в любой ее точке, так как это напряжение практически одинаково по всей длине ПЛ. В Эталоне-ТН величина зарядного напряжения емкостного накопителя энергии может изменяться от 1 до 50 кВ. Как показала практика, импульсное напряжение между электродами ПЛ также равно этим величинам вследствие согласованности ПЛ и практической малости активных потерь в элементах Эталона-ТН.

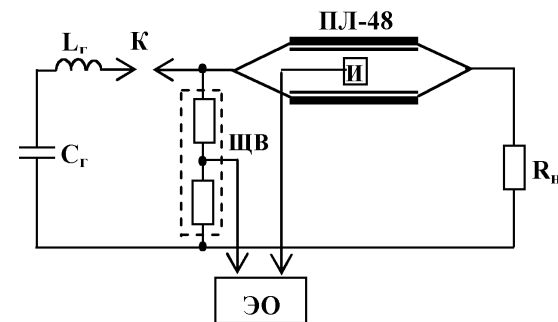


Рисунок 3 – Схема замещения Эталона-ТН

$C_{г}$ – емкость разрядного конденсатора; $L_{г}$ – суммарная индуктивность разрядного контура; К – высоковольтный коммутатор; ПЛ-48 – полосковая линия; $R_{н}$ – согласующая нагрузка ПЛ; ЩВ – щуп высоковольтный P6015A; И – измеритель СПЕФВ-ЕО

В качестве высоковольтного коммутатора в Эталоне-ТН используется механический коммутатор, в корпус которого закачивается азот с давлением до 6,5 атм.

Для контроля формы и амплитуды импульсов напряжения в ПЛ в Эталоне-ТН используются два измерительных средства:

- высоковольтный щуп P6015A ТЕКТРОНИХ с амплитудным диапазоном 0,1 – 40 кВ и полосой пропускания 75 МГц, который совместно с осциллографом ТЕКТРОНИХ TDS 2024 имеет паспортную погрешность 1,4 %;
- штатный Эталона РЭМП измеритель напряженности импульсного электрического поля типа СПЕФВ-ЕО с оптоволоконной линией передачи информации, со временем нарастания ПХ 4 нс и амплитудным диапазоном до 200 кВ/м.

Для достоверного определения $T_{н}^{ПХ}$ необходимо [6], чтобы время нарастания аттестационного импульса напряжения было короче $T_{н}^{ПХ}$ не менее чем в 3 раза.



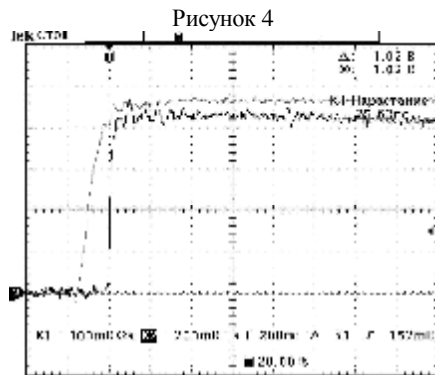


Рисунок 5

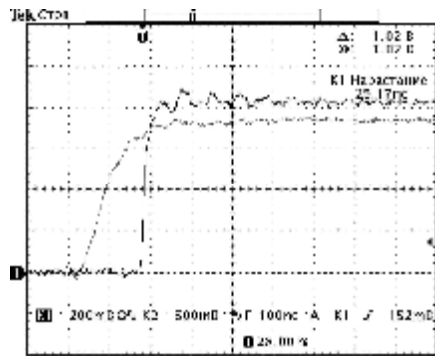


Рисунок 6

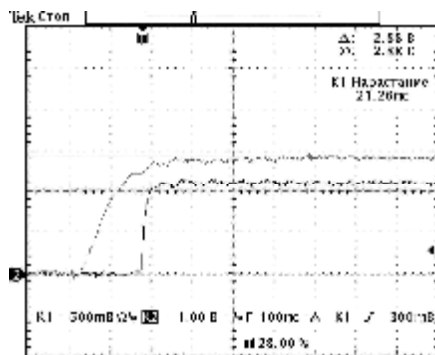


Рисунок 7

Для иллюстрации описанного метода измерения импульса напряжения в Эталоне-ТН был разработан экспериментальный омический делитель напряжения на 300 кВ (рис. 4), который подключался параллельно электродам

ПЛ-48. На рисунках 5-8 приведены осциллограммы фронтной части напряжений с выходов измерителя СПЕФВ-ЕО и экспериментального УИВН при зарядных напряжениях Эталона-ТН 10; 20; 30; 40 кВ.

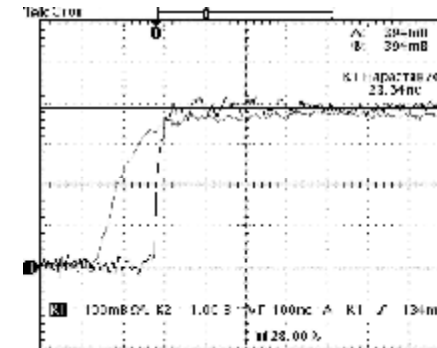


Рисунок 8

3. Выводы.

- Из осциллограмм на рисунках 5 – 8 видно:
- фронт аттестационного импульса напряжения в Эталоне-ТН при данных развертках осциллографа – это практически вертикальная линия, так как время нарастания этого импульса не превышает 10 нс;
 - фронт импульса напряжения на выходе УИВН – значительно более затянут по сравнению с аттестационным импульсом напряжения, что говорит о правильности определения времени нарастания ПХ УИВН из этих осциллограмм;
 - $T_n^{ПХ}$ практически одинаково во всем диапазоне аттестационных напряжений и составляет величину ~ 100 нс;
 - коэффициент деления K_o^{BH} данного УИВН при всех аттестационных напряжениях составляет величину 10500, что практически соответствует этому коэффициенту, измеренному при постоянном напряжении;
 - исходя из величины $T_n^{ПХ}$ экспериментальный УИВН можно применять для измерения импульсов высокого напряжения с длительностью фронта не менее 300 нс.

Список литературы: 1. Генератор крутых всплесков напряжения, тока и магнитного поля ГКВ-У.И.Н. Руководство по эксплуатации. 2. IEC 60052:2002 Voltage measurement by means of standard air gaps. 3. Edwards F.S., Smee J.F. The Calibration of the Spark-Gap for Voltage Measurement up to one million volts (effective) at 50 cycles / Journal Institution of Electrical Engineers, Vol.82, 1938, p.655-669. 4. Nemchenko Yu. S., Knyazev V.V., Kravchenko V.I. and Lisnoy I.P. The Development of the Pulse Electromagnetic Processes Measurement Unity Supporting System in Ukraine. 2006 Third International Conference on «Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals». (September 18-22, 2006), Sevastopol, Ukraine 2006, p.363-366. 5. Кравченко В.И., Князев В.В., Лесной И.П., Немченко Ю.С., Гурка Ю.Н. Экспериментальные исследования выходных характеристик Эталона РЭМП // Электротехніка і електромеханіка. – 2008. – № 4. – С. 70-74. 6. ГОСТ 8.256–77 Государственная система обеспечения единства измерения. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерения. Основные положения.